

Methodischer Ansatz zur volumenbasierten Geometrierückführung

Von der Punktwolke zum volumenbasierten, parametrischen CAD-Modell

Dipl.-Ing. Jochen Raßler

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr.-Ing. R. Anderl
**Fachgebiet Datenverarbeitung
in der Konstruktion (DiK)**
Fachbereich 16, Maschinenbau
Petersenstr. 30
64287 Darmstadt

Telefon: +49 (06151) 16 60 01
Fax: +49 (06151) 16 68 54
E-Mail: anderl@dik.tu-darmstadt.de
<http://www.dik.tu-darmstadt.de>



Inhalt

1. Abstract	3
2. Motivation	4
3. Stand der Technik	5
4. Konzeptioneller Ansatz	15
5. Fazit	24
6. Literatur	25

1 Abstract

1. Abstract

Many technical processes depend on geometry recognition. This may result from styling processes, FEA calculations, or casting parts.

Current geometry recognition algorithms are face bound for point clouds, and face or volume bound for the reconstruction of 2D technical drawings. There do not exist any algorithms to reconstruct volumes directly out of point clouds. This paper addresses this problem. It introduces an algorithm to detect volumes out of point clouds. The described algorithm is based on a volume bound algorithm of Chen and Perng, which is used to reconstruct volume based models from 2D technical drawings.

2 Motivation

2. Motivation

Während des Produktlebenszyklus entstehen oft nicht-parametrische Geometrien. Ihre Rückführung in volumenbasierte CAD-Modelle ist in vielen Prozessen von zentraler Bedeutung. Ein wesentlicher Prozess ist innerhalb des Entwicklungsprozesses von Bauteilen durch die Rückführung von geometrischen Modellen, die aus einem Optimierungsprogramm erstellt wurden in von Menschen verständliche CAD-Modelle gegeben [BFH02]. Ein weiterer wichtiger Prozess ist die Rückführung der Geometrien von Masterbauteilen nach der Kundenfreigabe im Bereich der Gussbauteile. Diese Rückführung wird aktuell von Hand durchgeführt, was mit einem hohen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden ist. Mit dem Einsatz einer teil- oder vollautomatisierten Rückführung solcher Daten wäre es möglich den Arbeits- und Zeitaufwand zu reduzieren. Dadurch können die Produktqualität erhöht und die Kosten reduziert werden.

3 Stand der Technik

3. Stand der Technik

Volumenrückführungskonzepte

Die Rückführung von 2D Zeichnungen in 3D Volumenmodelle ist ein gut untersuchtes Problem, das die Menschen seit Ende der 60er Jahren beschäftigt. Die bis heute untersuchten Konzepte können in zwei Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe umfasst die Ansätze, die ein 3D-Volumenmodell ausgehend von einer einzigen 2D Skizze erstellen, die „Single-View“ Ansätze. Die zweite Gruppe beinhaltet die Ansätze, die ausgehend von 2D isometrischen Ansichten eines Körpers das passende 3D-Volumenmodell bilden, die „Multi-View“ Ansätze [Con01]. Tabelle 3-1 zeigt die Unterteilung der Konzepte und eine Zusammenfassung der diversen Autoren. Im Folgenden werden nur die Multi-View Ansätze kurz vorgestellt.

„Multi-View“ Ansätze	„Single-View“ Ansätze
B-Rep-Ansätze Idesawa 1973 Wesley-Markowsky 1980, 1981 Sakurai 1983 Gu und andere 1985 Preiss und andere 1984 Masuda und andere 1996 CSG-Ansätze Aldefeld 1983, 1984 Ho 1986 Chen 1988 Meeran und Pratt 1993	Line Labeling Huffman 1971 Clows 1971 Gradient Space Mackworth 1973 Wei 1987 Linear System Sugihara 1986 Grimstead und Martin 1995 Interactive Methods Fukui 1988 Lamb und Bandopadhyay 1990 Primitive Identification Wang und Grinstein 1989 Minimum Standard Deviation Leclerc und Fischer 1992 Analytical Heuristics Kanade 1980 Lipson und Shpitalni 1996

Tabelle 3-1: Unterteilung der Volumrückführungskonzepte

Volumenrückführung ausgehend von 2D isometrischen Ansichten

Grundsätzlich gibt es mehrere Ansätze zur 3D Volumenrepräsentation (CSG, B-Rep, Sweep). Übergeordnet werden die Ansätze zur Volumenrückführung ausgehend von mehreren Ansichten unterteilt. Diese werden in zwei Kategorien klassifiziert: Generative und Akkumulative Ansätze [WaG93].

3 Stand der Technik

Akkumulative-Ansätze (B-Rep-Ansätze)

Die B-Rep-Vorgehensweisen, bei denen es sich um Bottom-Up Ansätze handelt, unterscheiden hauptsächlich zwischen vier Hauptschritten [WaG93]:

1. Transformation von 2D Eckpunkten in 3D Eckpunkte
2. Bildung von 3D Kanten aus den 3D Eckpunkten
3. Konstruktion von Flächen aus den 3D Kanten
4. Zusammensetzen von 3D Objekten aus den Flächen

Abbildung 3-1 zeigt einen typischen Lösungsweg des B-Rep-Ansatzes.

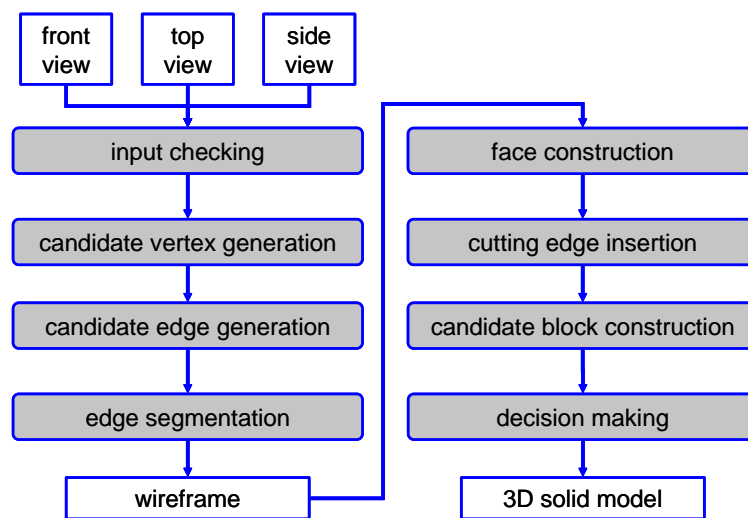


Abbildung 3-1: Typischer Lösungsweg des B-Rep-Ansatzes [HaS05]

Die verschiedenen B-Rep-Ansätze unterscheiden sich meist in den Techniken, die für die Lösung der oben genannten Schritte eingesetzt werden [WaG93]. Idesawa [Ide73] war der erste, der sich mit der Rekonstruktion von 3D Modellen aus 2D orthographischen Ansichten beschäftigte. Sein Ansatz bildet ein Drahtmodell aus den 2D Ansichten und erstellt anschließend ein Volumenmodell. Wesley und Markowsky [WeM80], [WeM81] führten das Nutzen von Unterdrahtmodellen ein. Ihre Algorithmen konstruieren 3D Unterflächen (virtuelle Flächen) aus den 3D Kanten. Anschließend werden 3D Unterobjekte (virtuelle Blöcke) aus den 3D Unterflächen gebildet. Zum Ende werden die 3D Unterobjekte zu einem einzigen 3D Objekt zusammengebaut. Sakurai [Sak83] erweiterte Wesley und Markowskys Algorithmen, indem er das Erkennen von rotationssymmetrischen Objekten wie Zylinder, Kegel, Torus und Kugel ermöglichte. Es sind noch weitere Autoren zu finden, die ihre Arbeit auf Idesawa aufbauen. Diese ermöglichen hauptsächlich das Erkennen von mehreren Objekten, besitzen aber einen höheren Komplexitätsgrad.

Der Vorteil von heutigen B-Rep-Ansätzen gegenüber von CSG-Ansätzen besteht darin, dass mit ihnen Objekte mit einem hohen Komplexitätsgrad aus den 2D Zeichnungen erkannt werden können. Ein großer Nachteil von den B-Rep-Ansätzen ist der hohe Komplexitätsgrad der Algorithmen. Außerdem wachsen der Zeitaufwand und Speicherbedarf bei der Suche von gültigen Flächen mit der Anzahl der zu erkennenden Objektklassen überproportional.

3 Stand der Technik

Generative Ansätze (CSG-Ansätze)

Die in dieser Gruppe unterteilten Ansätze gehen davon aus, dass jeder 3D Körper aus bestimmten Primitiven besteht, die in hierarchischer Form unterteilt sind. Es werden 3D Primitive mit Sweep Operationen erzeugt und anschließend mittels der mengentheoretischen Operatoren ($\cup, \cap, /$) zu einem einzigen 3D Körper zusammengebaut. Dabei wird ein CSG-Baum erzeugt. Bei der CSG-Vorgehensweise zur Volumenrückführung handelt es sich um einen Top-Down Ansatz.

Die CSG-Ansätze sind effizienter als die B-Rep-Ansätze und liefern meistens nur eine Lösung. Dagegen haben diese Ansätze einen begrenzten Einsatzbereich, weil sie entweder vordefinierte 2.5D Primitive benutzen oder nur Objekte identifizieren, die nur durch Extrudieren erzeugt werden können. [HaS05]

Ähnlich wie bei den B-Rep-Ansätzen existieren bei den CSG-Ansätzen eine ganze Reihe von Autoren die Methoden entwickelt oder weiterentwickelt haben.

Aldefeld

Aldefeld [Ald83], [AlR84] war der Erste, der sich mit einem CSG-Ansatz beschäftigte. Die Philosophie seiner Arbeit ist das Betrachten eines komplexen Körpers als eine Zusammensetzung von elementaren Objekten. Diese Objekte gehören zu definierten Klassen und sollen anhand der klassenabhängigen Muster der 2D Repräsentationen erkannt werden. Aldefeld definiert *Primitive* als einfache Elemente einer 2D Repräsentation wie gerade Linien, Bogen und Kreise. *Objekte* werden bei dem Ansatz von Aldefeld als 3D elementare Objekte, aus denen ein komplexer Körper besteht, zusammengesetzt. Ein *Objekt* kann ein Solid oder ein Hohlraum sein.

Aldefelds automatischer Ansatz benötigt eine Technische Zeichnung mit Draufsicht, Vorder- und Seitenansicht (Abbildung 3-3). Zudem wird vorausgesetzt, dass die 2D Repräsentationen von jedem elementaren *Objekt* komplett sind. Unter Komplette wird hier verstanden, dass die 2D Zeichnungen alle Projektionen der Kanten und Begrenzungen jedes elementaren *Objekts* beinhalten. Damit kann verstanden werden, dass jedes elementare *Objekt* so repräsentiert sein soll, als ob es ein isolierter Körper wäre.

Drei grundsätzliche Konzepte charakterisieren der Ansatz von Aldefeld. Zuerst muss die strukturelle Information in Thermen eines Semantiknetzwerks beschrieben werden. Das Semantiknetzwerk besteht aus Entities, Beziehungen und Attributen (sogenannte Beziehungsstruktur) (Abbildung 3-2). Es wird die Beziehungsstruktur der *Primitive* festgestellt mit anschließender Bildung von übergeordneten Strukturen bis alle *Objekte* gefunden werden.

Das zweite Konzept ist das Nutzen von *Modellen* für den Interpretationsprozess. Die *Modelle* beschreiben wie ein *Objekt* in den 2D Ansichten der technischen Zeichnung aussieht. Mit dem Einsatz von *Modellen* kann der Suchbereich reduziert werden, weil die Kenntnis möglicher Strukturen zur Verfügung steht. Es ist auch möglich Klassen für die Modellierung von *Objekten* zu definieren. Zwei Klassen können z. B. Profilkörper und Rotationssymmetrische Körper sein. Diese beiden Klassen sind völlig ausreichend für die Modellierung komplexer Strukturen. Aldefelds Ansatz beschränkt sich auf die Klasse der Profilkörper.

3 Stand der Technik

Das dritte Konzept ist die Nutzung von heuristischer Information zur Kontrolle der Suche. Heuristische Information hilft Unterstrukturen aus den 2D Strukturen auszuwählen, die erfolgversprechende Anfangspunkte für eine mögliche Interpretation sind.

Die Hauptkomponenten des Volumenrückführungskonzeptes von Aldefeld werden in Abbildung 3-2 dargestellt. Die *Primitive* werden einer Segmentierung unterworfen. Dabei werden die einzelnen *Primitive* an den Stellen, an denen sie Kontakt mit anderen *Primitiven* haben oder sich mit anderen *Primitiven* schneiden, abgegrenzt. Ziel dieser Segmentierung ist das Auffinden von Grundprimitiven, die als Bausteine für die Bildung von übergeordneten Strukturen dienen. Die Komponente „Attributes and Relationships“ sucht bei jedem Zyklus, ob neue Entities eingefügt werden und weist Attribute und Beziehungen zu. Die Aufgabe der „Substructure selection“ Komponente ist das Finden von Unterstrukturen, deren Muster zeigen, ob sie möglicherweise partielle Strukturen repräsentieren. Der Prozess benutzt heuristische Information um eine „best first“ Strategie durchzuführen. Dabei wird die vielversprechende Unterstruktur schnellstmöglich gefunden. Die „Substructure selection“ Komponente hat die Verantwortung alle Unterstrukturen zu berücksichtigen, ohne dass eine Unterstruktur übersehen wird. Die Unterstrukturen sind die Eingangsgrößen der Module, die für das Erkennen von Objekten verantwortlich sind. Jedes Modul erkennt nur eine Objektklasse und akzeptiert nur Unterstrukturen unter Voraussetzung, dass diese zu einem oder mehreren Objekten gehören. Danach werden die Objekte erkannt und zu einem gesamten 3D Objekt zusammengebaut.

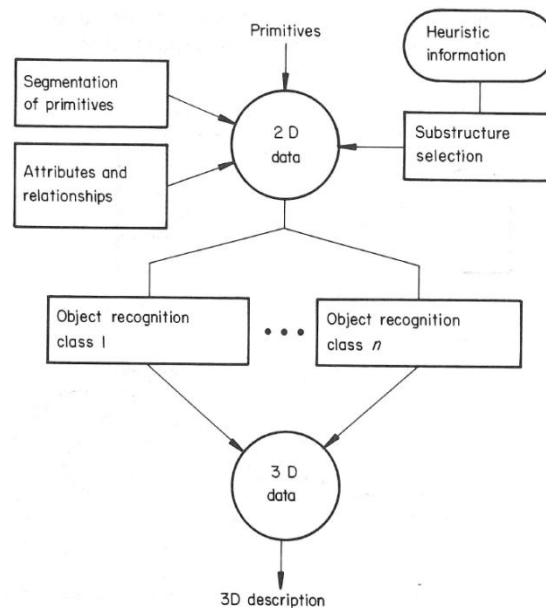


Abbildung 3-2: Hauptkomponenten des Aldefelds CSG-Konzeptes [Ald83]

Die drei 2D Ansichten Front-, Side-, und Topview sind ausreichend für die Rückführung eines *Objektes*. Für Profilkörper ist eine der Ansichten die Basissilhouette des *Objektes*. Die Basissilhouette hat nur eine Masche, die beliebig förmig sein kann. Die anderen Ansichten haben jeweils eine rechteckförmige Masche, die mehrere Maschen haben können. Dabei sind alle Linien parallel zu den Achsen (Abbildung 3-3).

3 Stand der Technik

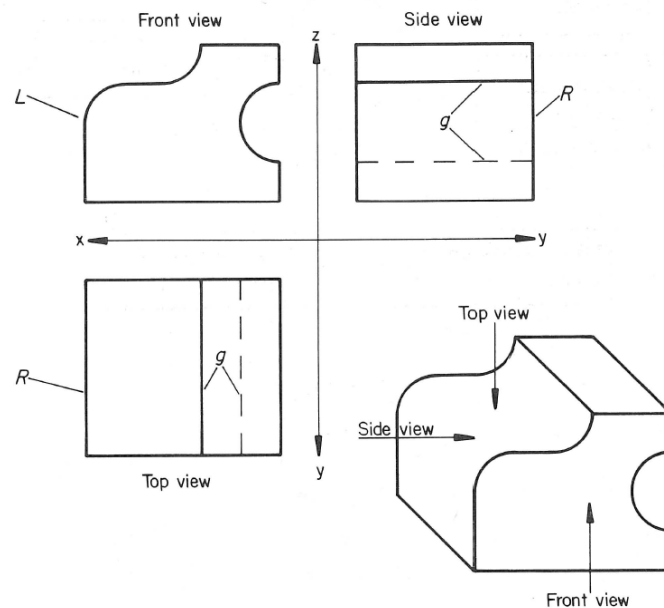


Abbildung 3-3: Profilkörper mit orthogonalen Projektionen [Ald83]

Die Maschen zweier Ansichten passen überein, wenn ihre Maximum- und Minimumwerte gleich sind. Dabei sind die Maximum- und Minimumwerte die Größten und Kleinsten Koordinatenwerten, die die Maschen in der gemeinsamen Koordinatensystemachse haben.

Es werden vier Hauptschritte bei dem Volumenrückführungsprozess von Aldefeld erkannt:

1. Finde die Basissilhouette des Objekts
2. Suche in einer anderen Ansicht, welche Vierecke mit der Basissilhouette übereinstimmen
3. Suche in der dritten Ansicht die Vierecke, die mit der Basissilhouette und mit den im zweiten Schritt gefunden Vierecken übereinstimmen
4. Finde die gesamten Gruppen von Liniensegmenten, die das Objekt konstruieren

Um die Basissilhouetten zu finden vergibt Aldefeld Werte an den Maschen. Diese Werte werden je nach den Attributen und Beziehungen der Masche vergeben. Zum Beispiel: Wenn eine Masche keine *Adjacent* Beziehung hat, handelt es sich um eine isolierte Masche. Diese muss für einen Profilkörper seine Basissilhouette sein. Aus diesem Grund wird dieser Masche ein hoher Wert vergeben.

1984 schlagen Aldefeld und Richter [AlR84] einen halbautomatischen Algorithmus vor. Dabei musste jedes elementare Objekt nicht so repräsentiert werden, als ob es ein isolierter Körper wäre.

Ho

Ähnlich wie Aldefeld, benutzt der Algorithmus von Ho [Ho86] die 2D Ansichten eines Objektes, um die Volumenrückführung durchzuführen. Die Dimensions- und Transformationsparameter werden von dem Algorithmus aus fünf Punkten abgeleitet. Es handelt sich mehr um einen CAD-orientierten Ansatz. Dadurch ist es möglich mehrere Objektklassen wie polyedrische Volumina (Quader, Tetra-Pyramide) und Volumina mit einfachen Kurven (Zylinder, Kegel, und Kugel) zu identifizieren. Dafür müssen die Achsen der Volumina senkrecht zu einer oder schräg zur zweiten Projektionsebenen stehen.

3 Stand der Technik

Ho definiert die *Primitive* als elementare Volumina von CSG Repräsentationen. Dabei unterscheidet er unter:

Translatorische Sweeps (z. B. Quader, Zylinder): Diese werden durch die Translation ihrer Basissilhouette entlang einer Achse erzeugt. Dabei muss die Achse senkrecht zu der Ebene sein, in der sich die Basissilhouette befindet. Wenn die Achse senkrecht zu einer Projektionsebene ist, befindet sich die Basissilhouette in dieser Projektionsebene. Die anderen beiden Ansichten zeigen Rechtecke. Wenn die Achse nicht senkrecht sondern parallel zu einer Projektionsebene ist, wird in dieser Projektionsebene ein Rechteck projiziert. In diesem Fall wird die Basissilhouette als eine Ellipse oder ein Parallelogramm projiziert. Wenn ein oder zwei Rechtecke in den Ansichten gefunden werden, handelt es sich auf jeden Fall um ein Prisma oder einen Zylinder (Abbildung 3-4, Abbildung 3-5).

Konische Sweeps (z. B. Tetra-Pyramiden, Kegel): Diese werden ähnlich wie die translatorischen Sweeps gebildet mit dem Unterschied, dass der Querschnitt der Basissilhouette entlang der Achse linear abnimmt. Die Charakteristiken der drei Ansichten sind ähnlich wie bei den translatorischen Sweeps. Nur hier werden in den Projektionsebenen, die parallel zur Achse stehen, nicht Vier- sondern Dreiecke oder Trapeze projiziert (Abbildung 3-6).

Rotationsprimitive (z. B. Kugel): Rotationsprimitive können die Kugel, der Kegel und der Zylinder sein. Diese werden durch die Rotation einer Kontur um eine Achse erzeugt. Wenn die Achse schräg zur Projektionsebene steht, werden eine oder mehrere Ellipsen mit entlang einer geraden Linie stehenden Mittelpunkten projiziert. Dabei ist die gerade Linie die Projektion der Achse. Wenn eine oder mehrere Kreise mit einem gemeinsamen Mittelpunkt oder Ellipsen mit kollinearen Mittelpunkten in einer Ansicht projiziert werden, handelt es sich auf jeden Fall um einen Rotationsprimitiven (Abbildung 3-7).

Für jedes Primitiv besteht der Eingabezyklus aus vier Schritten:

1. Eingabe des Primitiventyps (Quader, Tetra, Pyramide, Zylinder, Kegel, Kugel)
2. Eingabe des Vorzeichens der Primitiven (+ oder -). Wenn das Primitiv zu der Objektbildung beiträgt (Solid), ist sein Vorzeichen ein +. Wenn das Primitiv ein Hohlraum ist oder ein Loch, bekommt es ein - Vorzeichen.
3. Eingabe von drei Punkten der Basissilhouette der Primitive
4. Eingabe von drei Punkten der Höhe der Primitive

Nach dem Eingabezyklus wird ein Primitiv erzeugt. Die neuen 2D Repräsentationen werden gebildet und mit den originalen verglichen. Wenn die Rekonstruktion erfolgreich ist, kann das nächste Primitiv erkannt werden. Ist die Rekonstruktion erfolglos gelaufen, kann das gleiche Primitiv erneut definiert werden. Die Vorzeichen + und - korrespondieren zu den CSG mengentheoretischen Operatoren \cup und $/$. Die Intersektion (\cap) wird hier nicht behandelt.

3 Stand der Technik

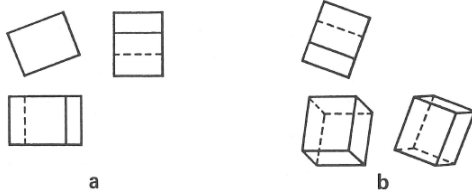


Abbildung 3-4: Ansichten eines Quaders [Ho86]

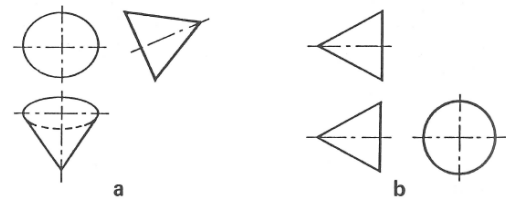


Abbildung 3-6: Ansichten eines Kegels [Ho86]

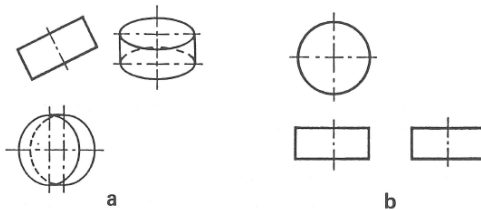


Abbildung 3-5: Ansichten eines Zylinders [Ho86]

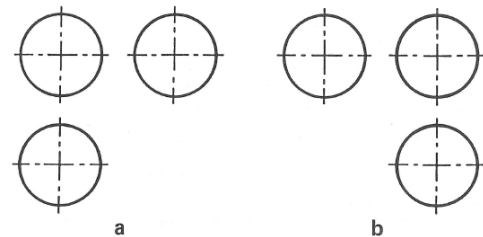


Abbildung 3-7: Ansichten einer Kugel [Ho86]

Chen und Perng

Der automatische Algorithmus von Chen und Perng [ChP88] rekonstruiert ein 3D Solid aus seinen 2D orthographische Ansichten. Dabei haben die Ansichten geometrische Informationen von Kreisen, geraden Linien und kreisförmigen Bögen. Die zu rekonstruierenden Objekte müssen Polyeder, Zylinder oder Teilzylinder sein. Der Rekonstruktionsprozess besteht aus den drei Phasen: Zerlegung, Rekonstruktion und Aufbau (Abbildung 3-8).

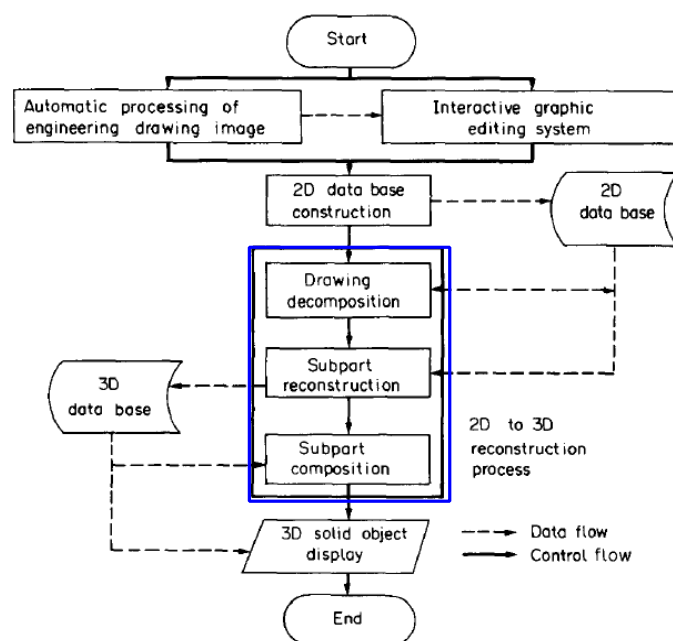


Abbildung 3-8: Rekonstruktionsprozess nach Chen und Perng [ChP88]

Bei der Zerlegung wird eine 2D Zeichnung in vordefinierten Typen von Unteransichten zerlegt. Bei der Rekonstruktionsphase werden Untervolumenkörper mit einer translatorischen Sweep Operation und gegebenenfalls mit einer anschließenden „Schnittebene“ Operation für jede

3 Stand der Technik

Unteransicht erzeugt. Die „Schnittebene“ Operation entfernt überflüssiges Volumen aus einem Objekt, das aus einer Sweep Operation entstehen kann.

Zum Schluss werden bei der Aufbauphase sogenannte Abdeckungsbeziehungen (In, WithIn, On bzw. Adjacent und Outside) zwischen den Untervolumenkörpern zugewiesen, um den Körper zusammen zu bauen. Der Körper wird dann in einem CSG-Baum repräsentiert. Ein Unterkörper ist „In“ einem anderen Unterkörper, wenn er sich in einem anderen Unterkörper befindet und mit diesem eine oder mehrere Flächen teilt. Ein Unterkörper ist „Within“ einem anderen Unterkörper, wenn er in einem anderen Unterkörper ist und mit diesem keine Flächen teilt. Ein Unterkörper ist „On“ einem anderen Unterkörper, wenn er sich an einem anderen Unterkörper befindet und mit diesem nur eine Fläche teilt. Ein Unterkörper ist „Outside“ einem anderen Unterkörper, wenn er nicht in einem Unterkörper enthalten ist (befindet sich außerhalb des Unterkörpers) und mit diesem keine Fläche teilt. Der CSG-Baum wird unter Beachtung der folgenden Regeln gebildet:

- Wenn ein Unterkörper „In“ mehreren Unterkörper ist, dann befindet er sich in der untersten Ebene des Baums.
- Wenn ein Unterkörper „In“ einem Unterkörper enthalten ist und auch „On“ einem anderen Unterkörper ist, wird nur die „In“ Beziehung beachtet.
- Wenn ein Unterkörper „On“ viele Unterkörper ist, dann werden alle diese Beziehungen beachtet.
- Wenn ein Unterkörper „Within“ einem Unterkörper ist und auch „In“ einem anderen Unterkörper ist, wird nur die „In“ Beziehung beachtet.
- Wenn eine „Within“ Beziehung zwischen zwei Unterkörpern vorhanden ist, wird diese ignoriert.
- Wenn eine „Outside“ Beziehung zwischen zwei Unterkörpern vorhanden ist, dann wird diese ignoriert.

Wenn alle Abdeckungsbeziehungen aller Unterkörper überprüft und verarbeitet wurden, kann ein quasi CSG-Baum erstellt werden.

Der quasi CSG-Baum enthält nur „In“ und „On“ Beziehungen. Anschließend wird der quasi CSG-Baum in einen CSG-Baum überführt (Abbildung 3-9). Dabei werden folgende Regeln beachtet:

- „On“ Beziehungen werden in Vereinigungsoperationen (\cup) überführt.
- „In“ Beziehungen ungerader Ebenen des quasi CSG-Baums werden in Differenzoperationen ($/$) überführt.
- „In“ Beziehungen gerader Ebenen des quasi CSG-Baums werden in Vereinigungsoperationen (\cup) überführt.

3 Stand der Technik

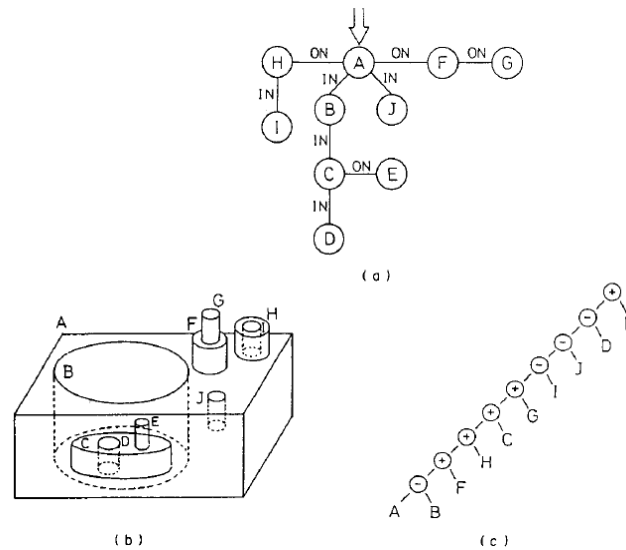


Abbildung 3-9: (a) Quasi CSG-Baum gebildet aus Abdeckungs-beziehungen des in (b) dargestellten Körpers; (b) Beispielkörper (Strichlinien stellen Hohlräume dar); (c) CSG-Baum entsprechend des in (a) dargestellten quasi CSG-Baums [ChP88]

In der Tabelle 3-2 werden einige Autoren der Volumenrückführungskonzepte aufgelistet.

Ansatz	Hauptautoren	Flächentypen	Mehrfache Lösungen	Hauptbeitrag	Beteiligung des Anwenders	Quelle
B-Rep orientiert	Idesawa (75)	planar	nein	setzt konstruktive Geometrie in das Rekonstruktionsproblem ein	nein	[Ide73]
	Lafu (78)	planar	nein	benutzt heuristische Regeln für die Rekonstruktion	ja	[Laf76]
	Woo (77)	planar	unbekannt	verfolgt Idesawas Idee	unbekannt	[WoH77]
	Wesley (81)	planar	ja	benutzt „constraint propagation“ Methoden	nein	[WoM81]
	Haralic (82)	planar	nein	verfolgt Wesleys Idee	nein	[HaQ82]
	Sakurai (83)	gekrümmt	nein	benutzt 2D-Punkt- und 2D-Linien-Attributen, um bestimmte 3D-Eckpunkten-, 3D-Kanten- und 3D-Flächen zu erzeugen	ja	[Sak83]
	Preiss (84)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	verfolgt Haralics Idee	nein	[Pre84]
	Gu (86)	Freiform	bedingt	benutzt eine „pattern match“ Methode, um gekrümmte Kanten höherer Ordnung zu generieren	unbekannt	[GTS86]
	Lequette (88)	quadrik	nein	verfolgt Sakurais Idee	ja	-
	Gujar (89)	planar	ja	benutzt Information aus gestrichelten Linien, um redundante Kanten zu löschen	nein	[GuN89]
	Muller (90)	planar	nein	verfolgt Wesleys Idee	unbekannt	[MuR90]
	Chen (92)	planar	ja	gruppiert mögliche Flächen und benutzt ihre Koexistenz oder nicht Koexistenz, um die Rekonstruktion zu beschleunigen	nein	[CPC92]
	Dutta (92)	gekrümmt (nur planar angezeigt)	nein	akzeptiert nur zwei orthographische Ansichten als Input	nein	[DuS92]
	Lysak (95)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	erkennt automatisch die passende Ansichten	nein	[LDK95]
	Kuo (96)	quadrik	ja	benutzt die „decision-chaining“ Methode, um 3D Objekte zu rekonstruieren	nein	[Kuo97]

3 Stand der Technik

CSG orientiert	Aldefeld (83)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	verknüpft 2D Mustern, um 3D Flächen zu generieren	nein	[Ald83]
	Ho (86)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	benutzt ein interaktives Problem, um 3D Objekte zu generieren	nein	[Ho86]
	Chen (88)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	führt die DSG-Idee ein	nein	[ChP88]
	Tomiyama (92)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	fügt zweckmäßige Hilfslinien automatisch in den 2D Zeichnungen ein	nein	[ToN92]
	Meeran (93)	gekrümmt (2.5D Objekte)	nein	benutzt mit AutoCAD erstellten 2D Zeichnungen (neutrale Daten) als Input	nein	[MeP93]

Tabelle 3-2: Autoren der Volumenrückführungskonzepte [Kuo97]

4 Konzeptioneller Ansatz

4. Konzeptioneller Ansatz

Das in dieser Arbeit vorgeschlagene Konzept zur Volumenrückführung von nicht parametrischer Geometrie in parametrische CAD Modelle basiert auf den generativen Volumenrückführungsansätzen und kann ähnlich wie bei Chen und Perng [ChP88] in einen Vorbereitungsprozess und einen 2D-zu-3D-Rekonstruktionsprozess unterteilt werden.

Bei dem Vorbereitungsprozess wird die Punktwolke zuerst auf einen geeigneten Anfangszustand für die Rekonstruktion gebracht. Dieser Prozess wird in zwei Unterprozesse bzw. Arbeitsschritte unterteilt. Dabei wird zuerst untersucht, ob die Geometrie durch genügend Dreiecke beschrieben wird. Gegebenenfalls werden die Dreiecke der Punktwolke vermehrt. Anschließend wird überprüft, ob die Richtungen der Hauptachsen der Punktwolke mit den Richtungen der Achsen des kartesischen Koordinatensystems übereinstimmen. Sollte keine Übereinstimmung vorliegen, wird die Punktwolke an dem kartesischen Koordinatensystem ausgerichtet.

Abbildung 4-1 zeigt die vier Schritte der Prozesskette der Geometrierückführung, um von einer Punktwolke zu volumenbasierten CAD-Modellen zu gelangen. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte detailliert beschrieben.

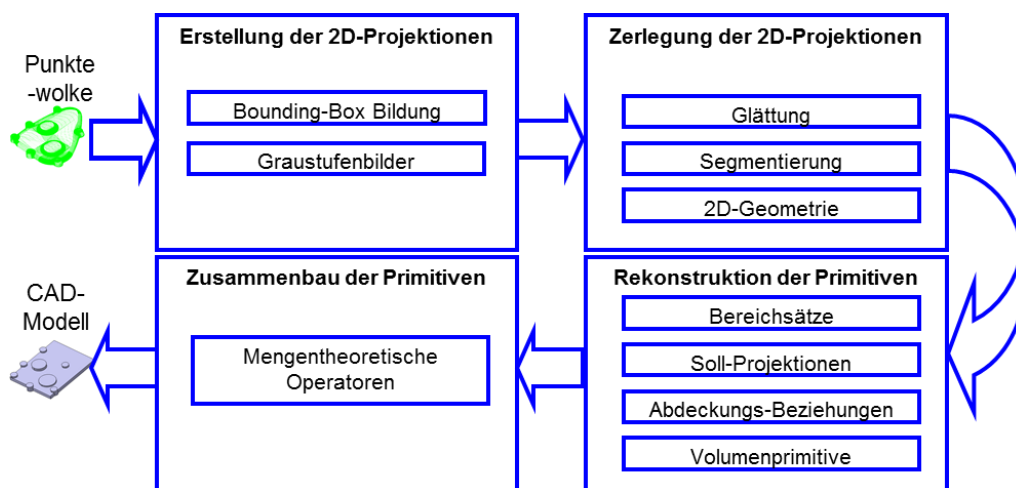


Abbildung 4-1: Prozesse und Arbeitsschritte des 2D zu 3D Rekonstruktionsprozesses

Erstellung der 2D-Projektionen

Der Erste Prozessschritt besteht dabei aus der Bildung von 2D-Projektionen aus der Punktwolke. Dazu wird um das gescannte Bauteil eine Bounding Box gelegt, die etwas größer ist als das eigentliche Bauteil. Dadurch wird sichergestellt, dass die Punktwolke vollständig an die Wände der Bounding-Box projiziert wird. Die Größe der Bounding-Box ist dabei Abhängig von der Auflösung der Eingangspunktwolke.

Je nach Komplexität der Geometrie werden 3 bis 6 Projektionen erzeugt, indem der Abstand der Bounding-Box zu den Punkten des Bauteils errechnet wird und diese Daten in Form von Graustufenbildern in einer Projektionsmatrix gespeichert werden.

Die Berechnung der Graustufen erfolgt, indem für jede Rasterzelle der orthogonale Abstand zwischen Projektionswand und Schnittpunkt zum nächstgelegenen Dreieck der Punktwolke

4 Konzeptioneller Ansatz

errechnet wird. Dabei wird (Gl. 4-1) mit Hilfe des Gaußschen Algorithmus gelöst und die Länge von \vec{P} berechnet (Abbildung 4-2). Der Abstand kann dabei als orthogonal zur Rasterzelle verlaufender Strahl betrachtet werden, der seinen Ursprung im Zellenmittelpunkt hat. Die errechneten Abstandswerte werden in einer Projektionsmatrix gespeichert und können als Graustufen visuell interpretiert werden.

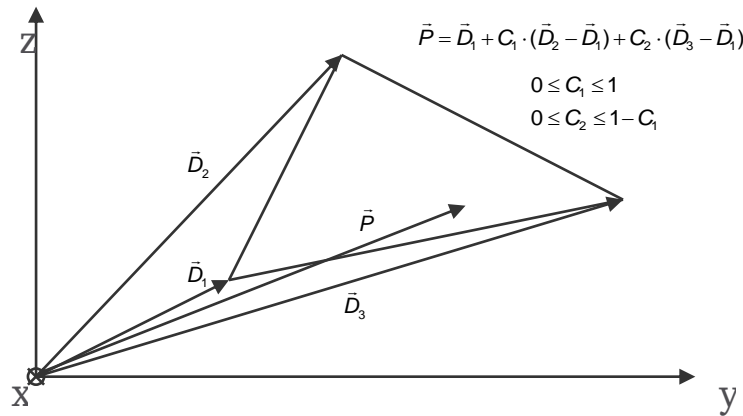


Abbildung 4-2: Vektorieller Nachweis "Punkt im Dreieck"

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{1x} \\ D_{1y} \\ D_{1z} \end{pmatrix} + C_1 \cdot \left[\begin{pmatrix} D_{2x} \\ D_{2y} \\ D_{2z} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} D_{1x} \\ D_{1y} \\ D_{1z} \end{pmatrix} \right] + C_2 \cdot \left[\begin{pmatrix} D_{3x} \\ D_{3y} \\ D_{3z} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} D_{1x} \\ D_{1y} \\ D_{1z} \end{pmatrix} \right] \quad (\text{Gl. 4-1})$$

Abbildung 4-3 zeigt die Projektionsmethodik und die dazugehörigen Graustufenbilder. Die Auflösung der Graustufenbilder entspricht der Auflösung der gescannten Bauteilgeometrien. Daraus ist ersichtlich, dass eine höhere Genauigkeit der gescannten Bilder direkt in einer höheren Genauigkeit der zu errechnenden Geometrie resultiert, als Trade-off jedoch quadratisch in eine höhere Rechenzeit eingeht.

Zur Reduktion der Rechenzeit kann die Bounding-Box unterteilt werden, so dass das Finden von Dreiecken nach dem vorbereitenden Unterteilungsprozess schneller geht, da nicht mehr die gesamte Punktwolke untersucht werden muss.

4 Konzeptioneller Ansatz

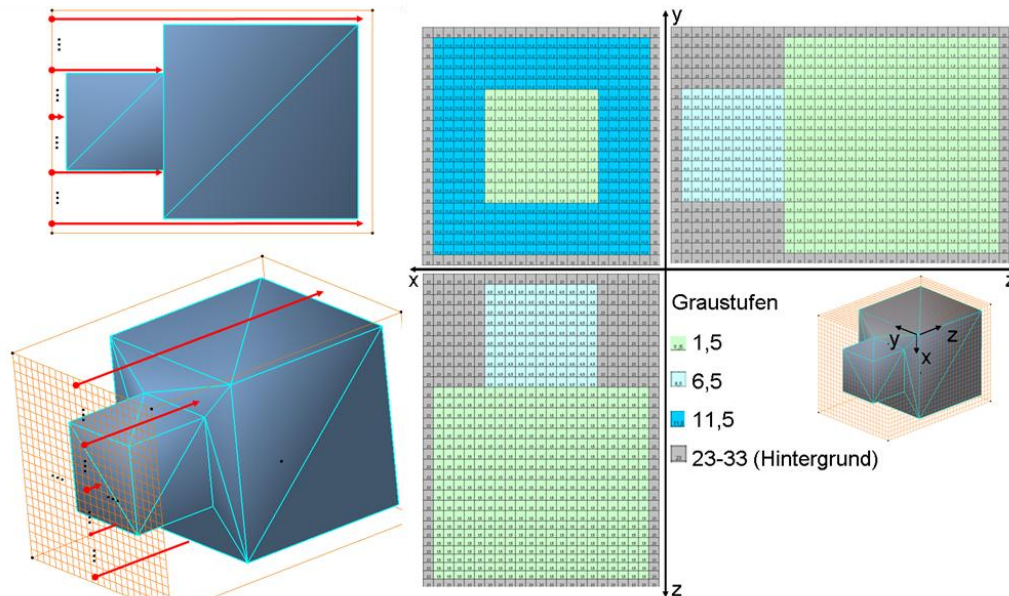


Abbildung 4-3: Projektion der Punktwolke und Graustufenbilder

Zerlegung der 2D-Projektionen

Im zweiten Prozessschritt werden die 2D-Projektionen, die in Graustufenbildern vorliegen, in 2D-Geometrien zerlegt und in parametrischen Geometriebeschreibungen abgelegt. Je nach Qualität der Graustufenbilder ist eine Glättung der Bilddaten notwendig. Hierfür können Standardalgorithmen, wie sie aus der Bildverarbeitung bekannt sind, zur Anwendung kommen. Gründe für eine Glättung können gestörte oder verrauschte Punktwolken sein.

Im zweiten Arbeitsschritt werden die Projektionen in Projektionsbereiche segmentiert. Dabei werden die Rasterzellen nach Merkmalen wie Graustufenwert, Graustufenverlauf und Nachbarschaften mit anderen Zellen gruppiert (Abbildung 4-4). Die Segmentierung der Projektionen kann für einfache Bilder mit der Nachbarschaftsbeziehung durchgeführt werden. Dabei werden Bereiche von benachbarten Rasterzellen mit gleicher Graustufe gebildet. Für komplexere Bilder können die Segmentierungsverfahren der digitalen Bildverarbeitung herangezogen werden. Einige Segmentierungsverfahren der digitalen Bildverarbeitung sind: die Pixelorientierte und die Regionenorientierte Segmentierung. Mehr über diese Segmentierungsverfahren kann aus [Jäh10] entnommen werden.

Für die Segmentierung gibt es einige Besonderheiten zu beachten. Einerseits können nichtzusammenhängende oder fragmentierte Bereiche gleicher Graustufe eine Grundgeometrie bilden, andererseits können sie auch zu verschiedenen Grundkörpern gehören, jedoch innerhalb der Projektion die gleichen Abstände zur Projektionswand besitzen. Die Differenzierung dieser Bereiche erfolgt im nächsten Prozessschritt. Eine weitere Besonderheit bilden gekrümmte Oberflächen, insbesondere zylindrische oder sphärische Flächen. Diese lassen sich in einem Bereichssatz zusammenfassen, besitzen jedoch nicht die gleichen Grauwerte. Aufgrund der gekrümmten Oberflächen lassen sich jedoch stetige Gradienten ermitteln und somit nach wenigen Punkten bereits Voraussagen zu den nächsten Punkten errechnen. Liegen ausreichend viele Punkte einer zylindrischen oder sphärischen Oberfläche vor, kann bereits hier der Radius der zu Grunde liegenden Geometrie berechnet werden.

4 Konzeptioneller Ansatz

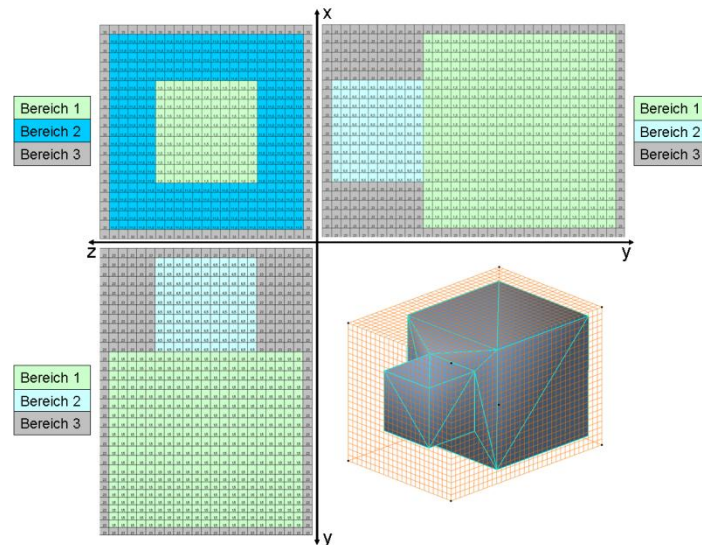


Abbildung 4-4: Segmentierte Projektionen einer Punktwolke; Bereiche von benachbarten Rasterzellen mit gleicher Graustufe

Im dritten Schritt dieser Phase wird für jeden Bereich eine beschreibende 2D-Geometrie (z. B. Kreis, Quadrat, Dreieck) ermittelt. Dabei sollen wichtige Parameter (z. B. Radien, Kantenlängen, Maximal- und Minimalwerte) gewonnen bzw. gespeichert werden. Jede erkannte 2D-Geometrie besitzt einen Satz von Parametern, die diese Geometrie vollständig definieren.

Hierfür werden für jeden Bereich die Umrandungen mit Vergleichsgeometrien abgeglichen und Nachweise (z.B. „Punkt im Polygon“ für Rechtecke und Dreiecke, „Punkt im Kreis“) erbracht. Aus den Nachweisen werden die Geometrien erkannt und die Parameter (z.B. Radien, Kantenlänge, Minimal- und Maximalwerte) ermittelt.

Am Ende dieses Schrittes erhält man für jeden Projektionsbereich jeder Projektion eine beschreibende 2D-Geometrie mit ihren zugehörigen Parametern. Zu beachten ist, dass einige Parameter oder Größen durch die Rasterzellenkoordinaten m und n definiert sein können. Diese können auf einfache Weise zu dem Globalen Koordinatensystem (x, y, z) transformiert werden. Es sollen nur die Koordinaten m und n mit der Rasterweite R_w multipliziert werden und das Ergebnis je nach Projektion mit den Minimalwerten der Bounding-Box addiert werden. Dabei muss nur beachtet werden, welche Rasterkoordinate (m, n) zu welcher Globalenkoordinate gehört.

Rekonstruktion der Primitive

In diesem Prozess werden die Projektionen nicht mehr einzeln behandelt. Vielmehr werden Beziehungen zwischen ihren Projektionsbereichen gebildet, um daraus 3D-Informationen zu gewinnen. Aus den 3D-Informationen werden anschließend einzelne Volumenprimitive erkannt, die in dem nächsten Prozess zu einem gesamten 3D-Modell zusammengefügt werden.

Gruppierung der Projektionsbereiche in Bereichsätze

Der erste Schritt ist der Vergleich der Projektionsbereiche unterschiedlicher Ansichten. Dafür werden die Maximal- und Minimalwerte der Rasterzellen jedes Bereichs (2D-Informationen) gebraucht. Jeder Maximal- und Minimalwertsatz eines Bereichs wird mit den Maximal- und Minimalwertsätzen der Bereiche anderer Projektionen verglichen (Abbildung 4-5). Wenn die

4 Konzeptioneller Ansatz

Maximal- und Minimalwertsätze von Bereichen unterschiedlicher Projektionen übereinstimmen, sind diese Bereiche Projektionen eines gemeinsamen Objekts und können gruppiert werden. Es entstehen Sätze von zusammenhängenden Bereichen.

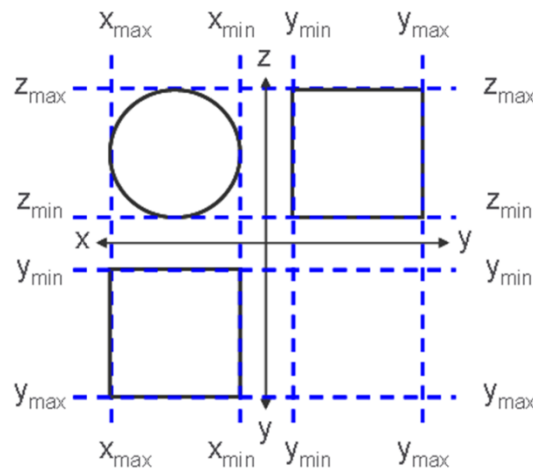


Abbildung 4-5: Bilden von Bereichsätzen aus Flächenbeschreibungen

Projektionsbereiche einfacher Geometrien haben in der Regel nur einen passenden Bereich in jeder anderen Projektion. Wenn ein Projektionsbereich mehrere passende Bereiche in anderen Projektionen besitzt, sollte der eigentlich gültige zusammengehörende Bereich mit Hilfe der passenden Projektionsbereiche anderer Projektionen gefunden werden. Bei solchen nicht eindeutigen Fällen entsteht ein iteratives Suchverfahren bei dem alle Maximal- und Minimalwertsätze möglicher zusammengehörenden Projektionsbereiche verglichen werden müssen. Die Graustufen und die Lage der Projektionsbereiche innerhalb deren Projektionen können einen Hinweis liefern, welche Bereiche zusammengehören könnten.

Die Bereiche, die keine passenden Bereiche in den anderen Projektionen haben, werden als selbständige Bereiche definiert. Diese können z. B. Bohrungen oder Taschen sein.

Soll-Projektionen Vergleich

In dem zweiten Arbeitsschritt dieser Phase kommen 2D-Informationen der Projektionen und 3D-Informationen der gesuchten Volumenprimitive zum Einsatz. Die geometrischen Beschreibungen der gruppierten Bereiche (2D-Informationen) werden mit einem Datensatz von Soll-Projektionen verglichen, um für jede Gruppe von Bereichen eine passende Volumenprimitivendefinition zu finden. Die Soll-Projektionen werden aus den zu erkennenden Volumenprimitiven bzw. Features abgeleitet und müssen vorgegeben werden. Es kann beispielsweise eine Featurebibliothek erstellt werden, in der neben den Definitionen der Primitive auch ihre möglichen orthogonalen Projektionen gespeichert werden.

Die Volumenprimitive werden durch Parameter definiert, die die Form, Lage und Orientierung der Volumenprimitive im 3D-Raum vollständig und eindeutig festlegen. Darüber hinaus haben Volumenprimitive einen bestimmten Satz von Soll-Projektionen, die durch 2D-Geometrien beschrieben werden können (Abbildung 4-6). Für die Rekonstruktion sollten die Soll-Projektionen mit dem gleichen Projektionsverfahren (z.B. orthogonal projizieren) erstellt werden, das für die Projektion der Punktwolke angewendet wurde. Auf diese Weise werden

4 Konzeptioneller Ansatz

Transformationen (z.B. Translation, Skalierung, Drehung) der Projektionen für deren Vergleich vermieden.

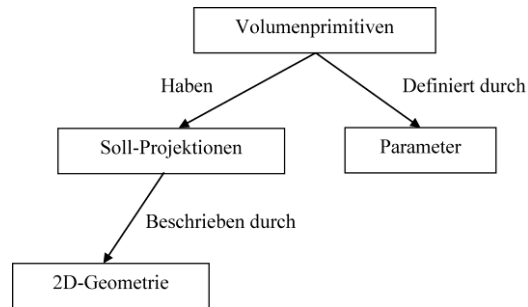


Abbildung 4-6: 3D-Informationen der Volumenprimitive

Nachdem diese Informationen für jeden Projektionsbereich einer bestimmten Volumenprimitivendefinition ermittelt wurde, können die Parameter der Volumenprimitive aus den 2D-Geometrien, die die betroffenen Projektionsbereiche beschreiben, bestimmt werden.

Bildung von Abdeckungsbeziehungen

Insbesondere bei komplexen Geometrien werden Bereiche einzelner Volumenprimitive von anderen Primitiven verdeckt. Wie in Abbildung 4-7 zu sehen, befindet sich der kleine Quader vor bzw. auf dem großen Quader. Diese Beziehungen können anhand der Koordinaten aus den geeigneten Projektionen abgelesen werden. Dabei gilt zu beachten, dass bei additiven Primitiven (Vereinigungsmenge \cup) sowohl die Tiefeninformation der Draufsicht als auch die Koordinaten einer Seitenansicht genutzt werden können, während bei subtraktiven Geometrien (Differenzmenge \setminus wie z.B. Taschen und Bohrungen) nur die Tiefeninformation der Draufsicht verwendet werden können. Dadurch entstehen IN und ON Beziehungen, die die mengentheoretischen Verknüpfungsoperatoren für den CSG-Baum für Prozessschritt 4 liefern.

Rekonstruktion einzelner Volumenprimitive

Nachdem die Abdeckungsbeziehungen ermittelt wurden, können die einzelnen Volumenprimitive mittels der 2D- und 3D-Informationen rekonstruiert werden und in den nächsten Prozess zu einem gesamten 3D-CAD-Modell zusammengebaut bzw. verknüpft werden. Die Volumenprimitive können mit Sweep Operationen erstellt werden. Die benötigten Parameter können für jede Primitivendefinition aus den Parametern der 2D-Geometrien entnommen werden. Jeder Bereichsatz besteht aus Projektionsbereichen, die durch 2D-Geometrien beschrieben werden. Diese 2D-Geometrien sind durch Parameter definiert. Um die Sweep Modelle zu erstellen, soll aus dem behandelten Bereichsatz „S“ ein Projektionsbereich „A“ ausgewählt werden. Die 2D-geometrische Beschreibung von „A“ wird als Querschnittsfläche definiert. Bei einem Quader kann ein beliebiger Projektionsbereich als Querschnittsbereich ausgewählt werden. Bei einem Zylinder soll ein Projektionsbereich, der durch einen Kreis beschrieben wird, als Querschnittsbereich gewählt werden. Anschließend soll die Tiefe (länge der Translation) aus den Parametern der 2D-geometrischen Beschreibung eines Projektionsbereichs „B“ („B“ befindet sich „S“) ermittelt werden. Dabei soll der Projektionsbereich „B“ sich in einer Ansicht befinden, die die dritte Koordinate der Projektion von „A“ enthält. Z. B.: wenn „A“ sich in einer XZ-Projektion befindet, kann „B“ aus einer XY- oder

4 Konzeptioneller Ansatz

YZ-Projektion für die Ermittlung der Tiefe herangezogen werden. Die Lage der Sweep Modelle im 3D-Raum kann aus der Lage der ausgewählten Querschnittsfläche ermittelt werden. Dabei soll eine Koordinatentransformation durchgeführt werden.

Die Definition der Primitiven von selbständigen Bereichen kann aus ihrer 2D-Geometrie, ihrem Graustufenwert und dem Graustufenwert des umhüllenden Bereichs (bei selbständigen Bereichen handelt es sich um Löcher z.B.: Taschen, Bohrungen) ermittelt werden. Die Parameter der Form können aus der 2D-Geometrie entnommen werden, die den selbständigen Bereich beschreibt. Die Tiefe der Volumenprimitive kann aus der Differenz zwischen der Graustufe des behandelten Projektionsbereichs und der Graustufe des umhüllenden Bereichs ermittelt werden.

Zusammenbau der Primitive

An dieser Stelle werden die Volumenprimitive zu einem 3D-CAD-Modell zusammengebaut (Abbildung 4-7).

Aus den Abdeckungsbeziehungen werden mengentheoretische Operationen zwischen den Volumenprimitiven definiert, um daraus ein Verknüpfungsmodell zu erstellen. In dieser Arbeit werden als Operatoren nur die Differenz (\setminus) und die Vereinigung (\cup) herangezogen. Wenn ein Bereich A eines Bereichsatzes S mit irgendwelchen anderen Bereichen B seiner Ansicht die IN Beziehung hat, erhält die Volumenprimitive, die durch den Bereichsatz S beschrieben ist, die Differenzverknüpfung. Wenn die Bereiche eines Bereichsatzes S jeweils nur ON Beziehungen mit den Bereichen ihrer Ansichten haben, erhält die Volumenprimitive, die durch den Bereichsatz S beschrieben ist, die Vereinigungsverknüpfung.

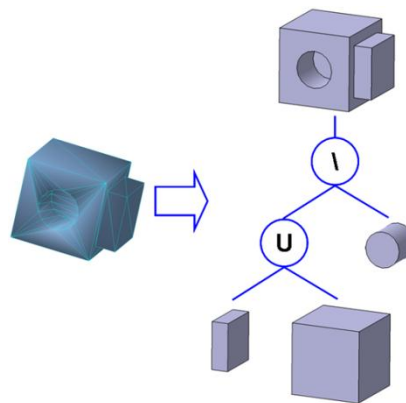


Abbildung 4-7: CSG-Baum der ermittelten Volumenprimitive

Als Vereinfachung für einfache Geometrien gilt: Alle Primitive, die die Vereinigung als Operator haben, werden zu einer gesamten Baugruppe „B1“ vereinigt. Alle Primitive, die die Differenz als Operator haben, werden zu einer gesamten Baugruppe „B2“ vereinigt. Anschließend wird die Operation „B1“ \setminus „B2“ durchgeführt (Abbildung 4-7). Die Bildung eines CSG-Baums ist das Ende des Volumenrückführungskonzeptes. Das approximierte Verknüpfungsmodell kann anschließend in einem beliebigen CAD-System repräsentiert werden.

Für komplexere Geometrien kann die oben genannte Vereinfachung nicht herangezogen werden. Bei solchen Geometrien, die eher den realen technischen Anwendungen entsprechen, muss der CSG-Baum detailliert gebaut werden. Detailliert bedeutet in diesem Sinne, dass jede Verknüpfung der Volumenprimitive einzeln behandelt werden muss.

4 Konzeptioneller Ansatz

Der oben beschriebene Algorithmus basiert auf der Verwendung von reinen Volumenprimitiven und unterstützt in der dargestellten Form weder komplexe Features noch Freiformflächen. Im Folgenden sollen die Verwendung von Produktionsfeatures wie komplexen Bohrungen, Verrundungen usw. und der Nutzung von Freiformflächen erläutert werden.

Freiformflächenintegration

Da der hier beschriebene Algorithmus zur Erstellung der CAD Geometrie auf der Verwendung von CSG-Bäumen basiert, handelt es sich um ein generatives Volumenmodell. Wird dieses zu einem hybriden Modell erweitert, das eine generative Primärstruktur hat und akkumulative Beschreibungen in seiner Sekundärstruktur unterstützt, wie z.B. Boundary Representation (BRep), können Freiformflächen in das Geometrierekonstruktionsverfahren integriert werden.

Durch die Nutzung von Gütekriterien bei der Beurteilung der rekonstruierten Flächensegmente in Form von Fehlerflächen können Geometriebereiche mit großen Abweichungen selektiert und markiert werden und somit einer besonderen Behandlung unterzogen werden. Diese markierten Geometriebereiche werden dann aus der ursprünglichen Punktwolke extrahiert und den bekannten Flächenrückführungsverfahren unterzogen und BRep oder NURBS Flächen erzeugt. Diese können dann zu Solids (Körpern) zusammengesetzt werden und in den CSG-Baum mit Hilfe der Vereinigungsmenge (\cup) oder Differenzmenge (\setminus) mit der vorhandenen Geometrie verknüpft werden. Dabei wird deutlich, dass Hilfsflächen zur Generierung geschlossener Solids erforderlich sind.

Featureerkennung

Im Rahmen dieses Projektes wurden die wichtigsten Features, die in CAD-Systemen genutzt werden, in Form generischer CSG-Beschreibungen in Featurebibliotheken abgelegt und dem oben beschriebenen Algorithmus zur Verfügung gestellt. Für die meisten Features existieren mehrere gleichwertige CSG-Baum Beschreibungen, um die Featureerkennung zu erleichtern. Abbildung 4-8 zeigt beispielhaft die CSG Beschreibung einer Sacklochbohrung mit rechteckiger Senkung. Im linken CSG-Baum wird die Bohrung nur durch Volumenprimitive beschrieben, während der rechte Strukturbaum die Integration von Flächenprimitiven und dem Sweepoperator Rotation enthält.

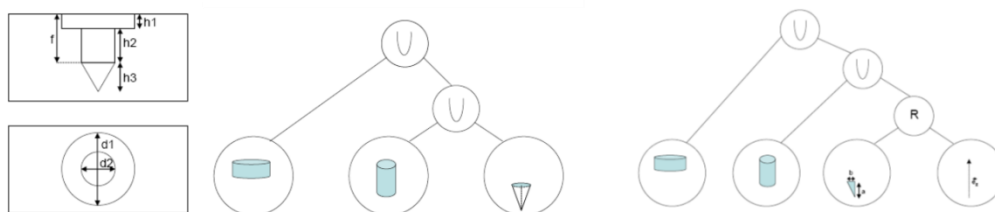


Abbildung 4-8: CSG Beschreibung einer Sacklochbohrung mit rechteckiger Senkung

Zur Featureerkennung existieren zwei unterschiedliche Strategien. Die erste Strategie basiert auf der Untersuchung der rekonstruierten CSG-Bäume, indem die Bäume auf Features untersucht

4 Konzeptioneller Ansatz

werden. Befinden sich Teilbäume in den unteren Knoten (d.h. keine weiterführenden Knoten unterhalb des Teilbaumes), die den generischen Beschreibungen der Featurebibliothek gleichen, können diese Teilbäume durch entsprechende vereinfachte Featuredarstellungen ersetzt werden. Dies ist insbesondere, wie im Falle der Sacklochbohrung, daher hilfreich, um im CAD-System direkt Produktionsfeatures anstatt der aufwendigen einzelnen Geometriebeschreibungen nutzen zu können. Dadurch erhalten die Geometrien den zusätzlichen Informationsgehalt des Features und können, geeignet parametrisiert, zusammenhängend im CAD-System geändert werden.

Die zweite Strategie ist deutlich komplexer in der Implementierung und kann oft nur bei ausreichender Auflösung der gescannten Daten zum Erfolg führen. Dies soll am Beispiel einer Kantenverrundung erläutert werden.

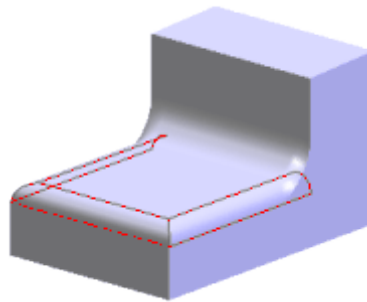


Abbildung 4-9: Ineinandergreifende verrundete Kanten

Abbildung 4-9 zeigt ein Werkstück mit ineinandergreifenden Verrundungen. Bei der Generierung der Bereichsätze ist der detektierte Quader kleiner als der tatsächliche Quader. An den Kanten befinden sich additiv zylindrisch verrundete Flächen, die jedoch keine rechteckigen Grundflächen in der entsprechenden Projektion zeigen, sondern verrundete Stirnflächen besitzen. Nutzt man die Gütekriterien bei der Erkennung von Flächenprimitiven, lassen sich hier gewisse Abweichungen erkennen, die sich mit Hilfe komplexer Aneinanderreihungen von Flächenprimitiven genau beschreiben lassen. Um die Erkennung dieser Flächenprimitive zu vereinfachen, können typische Features aus der Featurebibliothek für bestimmte Bereiche der zu erkennenden Körper als Vergleich zu Hilfe gezogen werden. Am Beispiel der Verrundung wird deutlich, dass die durch abgerundete, nichtrechteckigen Geometrien fortgesetzten Bereichsätze einer ebenen Fläche typischerweise auf eine Verrundung schließen lassen können, weshalb das Vergleichen der vorliegenden Geometrie mit dem Feature Verrundung zielführend sein kann.

Weitere typische Features sind beispielsweise Bohrungen bei der Detektion einer kreisförmigen Vertiefung oder einer Nut bei einer länglichen, verrundeten Vertiefung mit einer rechteckigen Bounding-Box.

5 Fazit

5. Fazit

Die bisherigen Geometrierekonstruktionsverfahren nutzen flächenbasierte Rückführungskonzepte für die Rekonstruktion von Punktwolken. Volumenbasierte Rekonstruktionsverfahren kommen nur für die Erstellung von 3D-Geometrie aus 2D technischen Zeichnungen zum Einsatz. Der hier vorgestellte Ansatz nutzt die Kenntnisse aus den bisherigen Verfahren und verknüpft sie auf geeignete Weise, um ein volumenbasiertes Geometrierekonstruktionsverfahren für Punktwolken umsetzen zu können. Dafür werden die Eingangsdaten, die oft als STL-Daten vorliegen, zuerst einer orthogonalen Projektion unterzogen. Auf Basis dieser Projektionen können Bereiche detektiert werden, die zu einem Flächenprimitiv gehören. Durch die Verwendung von 3 bis 6 Projektionen können dazugehörige Projektionen aus anderen Ansichten genutzt werden, um aus den Flächenprimitiven Volumenprimitive zu ermitteln. Diese werden parametrisiert und mit Hilfe der Mengentheoretischen Operatoren zu CSG Bäumen verknüpft.

Da in technischen Anwendung häufig Freiformflächen und Features verwendet werden, wird abschließend ein Ansatz vorgestellt, der aus den akkumulativen Volumenmodellen hybride Modelle macht, die BRep Daten in der Sekundärstruktur enthalten können. Für die Integration von Features (meist Produktionsfeatures) wurden Featurebibliotheken erstellt, die das Auffinden und Beschreiben komplexer Geometrien vereinfacht.

Aus den so beschriebenen Volumina können volumenbasierte CAD-Modelle zusammengebaut und dort weiterverarbeitet werden.

6 Literatur

6. Literatur

- [Ald83] Aldefeld, B.: On automatic recognition of 3D structures from 2D representations; Computer-Aided Design, Vol. 15, No. 5 pp. 59-64, 1983
- [AlR84] Aldefeld, B., Richter, H.: Semiautomatic three dimensional interpretation of line drawings; Computer & Graphics, Vol. 8, No. 4, pp. 371-380, 1984
- [BFH03] Burbli, A., Fricke, H., Hinnigs, D.: Rückführung von Optimierte Strukturen in den Entwicklungsprozess; FEM-, CFD-, und MKS Simulation, 1/2003
- [ChP88] Chen, Z., Perng, D.-B.: Automatic reconstruction of 3D solid objects from 2D orthographic views; Pattern Recognition, Vol. 21, No. 5, pp. 439-449, 1988
- [CPC92] Chen, Z., Perng D.-B., Chen, C., Wu, C.-S: Fast recognition of 3D mechanical parts from 2D orthographic views with rules; INT. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 5, No. 1, pp. 2-9, 1992
- [Con01] Conesa, J.: Dissertation zum Thema: Reconstrucción geométrica de sólidos utilizando técnicas de optimización; Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de estructuras y construcción, 2001
- [DuS92] Dutta, D. Srinivas, Y. L.: Reconstruction of curved solids from two polygonal orthographic views; Computer Aided Design, Vol. 24, No.3, pp. 149-159, 1992
- [GuN89] Gujar, G.Nagendra, I. V.: Construction of 3D solid objects from orthographic views; Computer & Graphics, Vol. 13, No. 4, pp. 1-18, 1989
- [GTS86] Gu, K. Tang, Z., Sun, J.: Reconstruction of 3D objects from orthographic projections; Computer Graphics Forum, Vol. 10, No. 5, pp. 317-324, 1986
- [HaQ82] Haralic, R. M., Queeney, D.: Understanding engineering drawings; Computer Graphics and Image Processing, Vol. 20, pp. 244-258, 1982
- [HaS05] Hanmin, L., Soonhung, H.: Reconstruction of 3D interacting solids of revolution from 2D orthographic views; Computer Aided Design, Vol. 37, pp. 1388-1398, 2005
- [Ho86] Ho, B.: Inputting constructive solid geometry representations directly from 2D orthographic engineering drawings; Computer-Aided Design, Vol. 18, No. 3, pp. 147-155, 1986
- [Ide73] Idesawa, M.: A system to generate a solid figure from three views; Bulletin of the JSME, Vol. 16(92), pp. 216-225, 1973
- [Jäh10] Jähne, B.: Digitale Bildverarbeitung; 7. Auflage, Springer Verlag, ISBN 3642049516, 2010
- [Kuo97] Kuo, M. H.: A systematic approach towards reconstructing 3D curved models from multiple 2D views; Lecture Notes In Computer Science, Vol. 1389, pp. 265-279, Springer Verlag, 1997
- [Laf76] Lafu, G.: Recognition of three-dimensional objects from orthographic views; Computer Graphics, Vol. 16, No. 2, pp. 103-108, 1976
- [LDK95] Lysak, D. B., Devaux, P. M., Kasturi, R.: View Labeling for Automated Interpretation of Engineering Drawings; Pattern Recognition, Vol. 28, No. 3, pp. 393-407, 1995
- [MeP93] Meeran, S., Pratt, M. J.: Automated feature recognition from 2D drawings; Computer-Aided Design, Vol. 25, No. 1, pp. 7-17, 1993
- [MuR90] Muller, A., Richter, D.: Reconstruction of a boundary representation model from three orthographic projection: A geometrical approach; Eurographics '90, pp. 237-250, 1990
- [Pre84] Preiss, K.: Constructing the solid representation from engineering projections; Computer in Industry, Vol. 8, No. 4, pp. 381-389, 1984
- [Sak83] Sakurai, H.: Solid model input through orthographic views; Computer Aided Design, Vol. 17, No. 3, 1983
- [ToN92] Tomiyama, K., Nakamura, T.: Auxiliary lines in three view drawings, for 3D shape reconstruction, using CSG method; IEEE International Conference on System Engineering, pp. 250-256, 1992
- [WaG93] Wang, W., Grinstein, G. G.: A survey of 3D solid reconstruction from 2D projection line drawings; Computer Graphics Forum, 12(2), pp. 137-158, 1993

6 Literatur

- [WeM80] Wesley, M. A., Markowsky, G.: Fleshing out wire frames; IBM Journal of Research and Development, 24(5), pp. 582-597, 1980
- [WeM81] Wesley, M. A., Markowsky, G.: Fleshing out projections; IBM Journal of Research and Development, 25(6), pp. 934-953, 1981
- [WoH77] Woo, T. C., Hammer, J. M.: Reconstruction of three-dimensional designs from orthographic projections; Proc. 9th CIRP conference, pp. 247-255, 1977
-